Armas inteligentes en la guerra naval

El impresionante comportamiento de las armas con guía de precisión en la reciente guerra de las Malvinas pone en entredicho la política tendente a dotar a las flotas navales de buques de superficie grandes y costosos

Paul F. Walker

El conflicto desencadenado en 1982 entre Gran Bretaña y la República Argentina por el control de las islas Malvinas revistió particular interés para los estados mayores militares y cuantos intervienen en la evaluación del efecto que puedan tener las modernas armas con guía de precisión en el futuro de la guerra naval. De los 114 aviones de combate y 10 buques perdidos por ambas partes en los dos meses que duró el conflicto, más de la mitad los dejaron fuera de servicio esas armas inteligentes. Se perdieron 61 aviones de combate argentinos derribados por misiles superficie-aire y aire-aire, tres buques británicos destruidos por misiles aire-superficie y superficie-superficie y un navío argentino (el anticuado crucero pesado *General Belgrano*) hundido por un torpedo con guía acústica lanzado por un submarino. Otros nueve aviones británicos y 44 argentinos, más tres buques de superficie británicos y tres argentinos, fueron blanco de medios más convencionales, como fuego de cañón, bombardeo aéreo o accidentes.

Desde el punto de vista de la planificación de la fuerza naval, la más significativa fue la pérdida del destructor británico H.M.S. *Sheffield*, alcanzado poco después de las dos de la tarde del 4 de mayo de 1982 por un misil Exocet, de fabricación francesa, lanzado desde más de 30 kilómetros de distancia por un caza-bombardero argentino Super Étendard, también de fabricación francesa. En el momento del ataque, el buque se hallaba en misión de descubierta al sudeste de las Malvinas, al oeste del cuerpo principal de la flota británica. El misil, que vuela rozando la superficie del mar y se autodirige por radar, alcanzó al *Sheffield* en el centro del casco, casi a dos metros por encima de la línea de flotación, provocando un incendio que rápidamente desmanteló la mayor parte de los sistemas de gobierno, incluidos los equipos de lucha contra incendios. Cinco horas después del ataque, cuando las llamas se propagaban peligrosamente hacia los pañoles de la munición, se dio orden de abandonar el navío. Después de un intento fracasado de remolcarlo fuera del escenario del combate, se echó a pique el casco; veinte marineros británicos perecieron en el ataque.

La destrucción del *Sheffield* constituyó una impresionante demostración de la favorable relación coste-eficacia de las modernas armas con guía de precisión. Era aquel un destructor de primera categoría, de unas 4000 toneladas; construido hace unos 10 años, costó alrededor de los 50 millones de dólares. Estaba dotado de uno de los más avanzados sistemas defensivos disponibles; lo que no fue obstáculo para caer ante un impacto certero de un misil pequeño, de medio alcance, que apenas había costado unos centenares de miles de dólares.

¿Qué nos enseña este incidente, si es que podemos sacar de él alguna lección? ¿Acaso la aparición de misiles-antibuque inteligentes, del tipo del Exocet, cierra una era en la guerra naval, como se ha llegado a sugerir? ¿Han de pasar a la historia los grandes y costosos navíos de superficie, presa fácil de una nueva generación de armas con guía de precisión, baratas y mortíferas, que pueden dispararse desde aviones, pequeños patrulleros, submarinos o baterías costeras? O bien, como también se ha avanzado, ¿pueden aplicarse en alta mar medidas defensivas de parejo refinamiento que convertirían en excepcionales incidentes de ese tenor? La revisión de las bases técnicas de este debate no puede ser más oportuna, a la vista de los planes de la administración Reagan para incrementar la flota estadounidense en más de 100 nuevos navíos de guerra, incluyendo dos portaeronaves a propulsión nuclear cuyo coste estimado rebasa los 3500 millones de dólares cada uno.

El fabricante del misil Exocet, la compañía francesa Societé Nationale Industrielle Aerospatiale, garantiza que se trata de un arma de suma confianza, "capaz de destruir cualquier navío de superficie" con una "probabilidad de acierto" por encima del 90 por ciento. Al lado de otros misiles de su tipo, el Exocet no destaca por su magnitud; mide menos de cinco metros de largo y no llega a los 700 kilogramos de peso, incluyendo la ojiva, de unos 160 kilogramos de material altamente explosivo, y una carga completa de combustible. El misil va propulsado por un motor cohete de combustible sólido de dos etapas; su alcance máximo es de 40 a 65 kilómetros, según el modo de lanzamiento. Se han diseñado distintos modelos para su lanzamiento desde aeroplanos, helicópteros, buques de superficie o instalaciones costeras. Introducido en 1972, el Exocet opera en la escuadra francesa desde 1978; al menos otras 17 naciones lo han adquirido ya. Hasta la fecha se ha instalado en más de 180 navíos, incluyendo la fragata más joven de la escuadra británica, la H.M.S. *Beaver*, que no estuvo lista a tiempo para intervenir en la guerra de las Malvinas.

En un lanzamiento aéreo típico de un misil antibuque, como el Exocet, el piloto del avión atacante vuela a baja co-

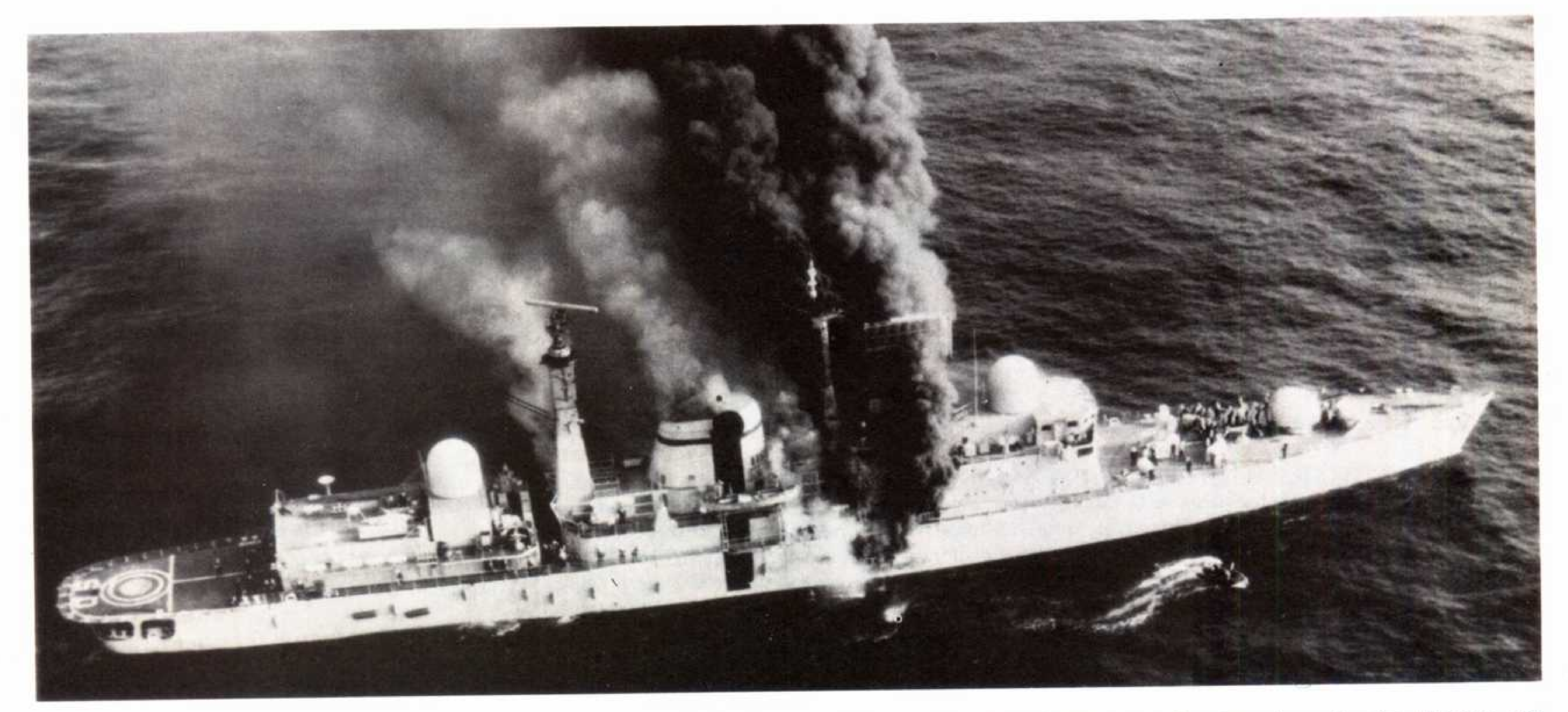
ta sobre las aguas, por debajo de la cobertura de radar del defensor, hasta que debe lanzar el misil. El avión se eleva entonces brevemente para definir el blanco, descendiendo de nuevo bajo la cobertura de radar cuando se han fijado en la memoria microelectrónica del misil las coordenadas del objetivo. El misil se lanza en la modalidad "dispara y olvida" (*fire and forget*); recorre la última porción de su trayecto impulsado por medios propios y en su mayor parte bajo el control de su sistema de guía inercial y de su radio-altímetro; este último dispositivo permite al misil deslizarse a ras de superficie, a unos pocos palmos sobre la superficie del mar. Al acercarse a su objetivo, se eleva ligeramente para explorar el horizonte y fija su radar de autoguiado terminal sobre el blanco. Se ha diseñado la ojiva del misil para que primero perfore el casco del buque y luego detone.

Era en este caso el *Sheffield* el objetivo del Exocet. Se trataba de uno de los 10 destructores tipo 42 construidos durante la última década para prestar servicio en la flota británica del Atlántico Norte. Se diseñaron todos ellos para servir de plataformas de lanzamiento del nuevo misil contra aeronaves Sea Dart, y tienen por misión específica proporcionar defensa aérea a las fuerzas navales de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN). Los destructores del tipo 42 están equipados con 20 misiles Sea Dart, un cañón automático de 115 milímetros Vickers en la cubierta delantera, dos cañones Oerlikon de 20 milímetros a popa y un helicóptero, armado con cuatro misiles antibuque Sea Skua, en la cubierta posterior.

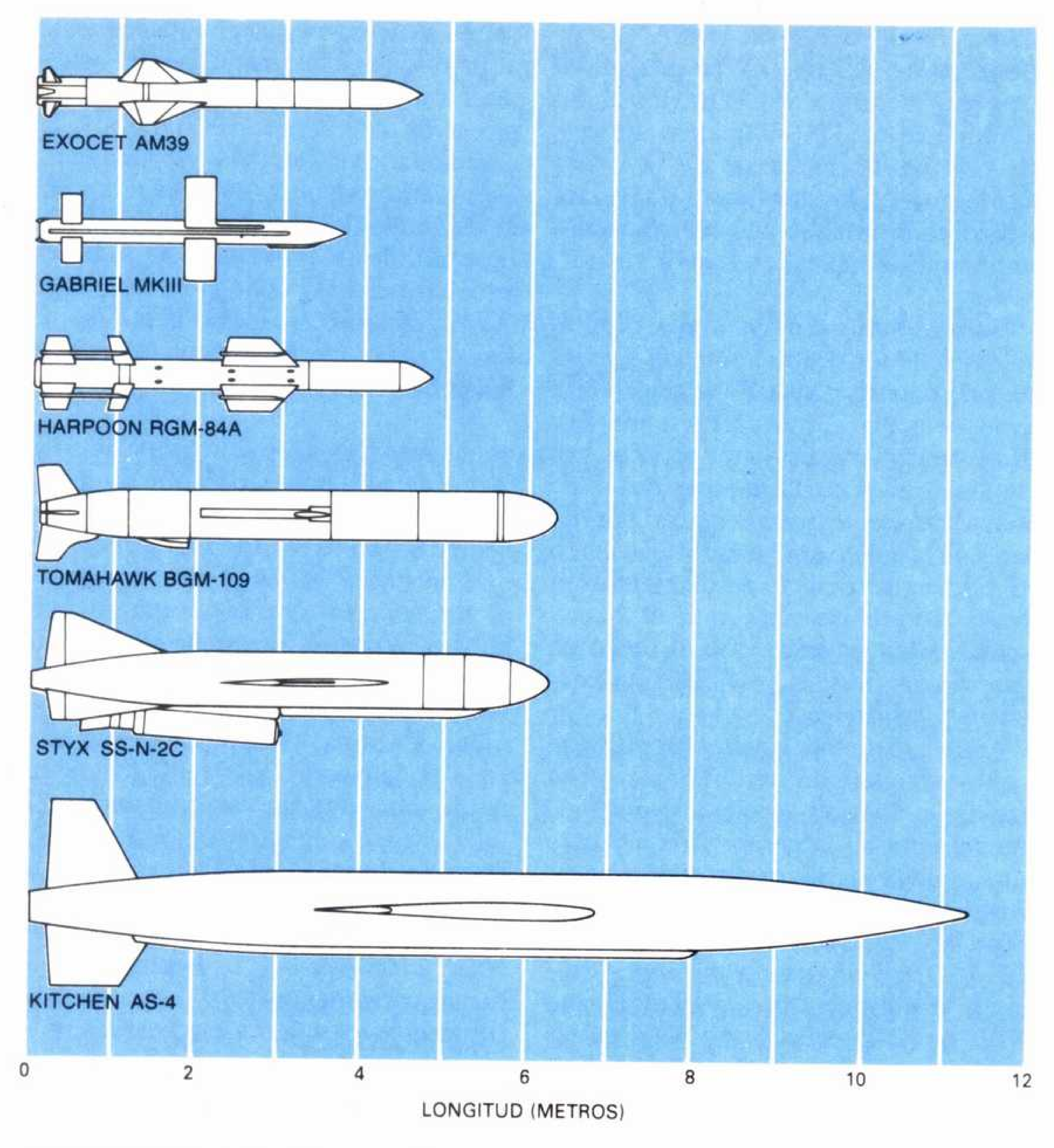
Se consideran muy buenos los rendimientos de los destructores del tipo 42 contra aviones que ataquen volando a gran o media altitud. El sistema Sea Dart derribó ocho aviones en la guerra de las Malvinas. El ataque del 4 de mayo sobre el *Sheffield* se lanzó por debajo de la cobertura de radar, y cuando el Exocet se detectó visualmente era demasiado tarde para que el buque reaccionara, ya fuera con el fuego de cañones antimisiles, ya mediante contramedidas pasivas.

El *Sheffield* no estaba pertrechado con otro avanzado misil defensivo británico, el Seawolf, diseñado específicamente para la defensa próxima y para una rápida reacción contra esas amenazas de vuelo rasante. Dos fragatas británicas, las H.M.S. *Broadsword* y H.M.S. *Brilliant*, equipadas con el Seawolf, lo utilizaron con éxito en el conflicto de las Malvinas, derribando cinco aviones enemigos que atacaban a baja altitud. Probablemente, ni siquiera equipado con misiles Seawolf hubiera el *Sheffield* esquivado el impacto, pues al producirse el ataque el buque no tenía en funcionamiento su radar de exploración activa para no interferir las comunicaciones. (Es más, según un reciente informe, un sistema de radar pasivo a bordo del *Sheffield* detectó el haz buscador de radar del misil que se aproximaba, pero el ordenador del buque estaba programado para identificar el Exocet como un misil "amigo", y por tanto no dio la alarma.)

Los argentinos dispararon seis misiles Exocet durante el conflicto de las Malvinas. Cuatro de ellos alcanzaron distintos objetivos. El primer misil, el que incendió el *Sheffield*, probablemente se lanzó contra el portaeronaves H.M.S. *Hermes*, que se hallaba próximo; aparentemente, los dos buques fueron confundidos en la pantalla de radar del Super Étendard. El segundo Exocet, lanzado casi simultáneamente desde un Super Étendard acompañante, falló su golpe contra el *Sheffield*, cayendo al mar antes de llegar a la altura del *Hermes*. Tres semanas más tarde, el buque mercante transformado *Atlantic Conveyor*, que había entregado un cargamento de aviones Harrier de despegue vertical a las fuerzas británicas y transportaba suministros y helicópteros entre las islas, fue alcanzado y destruido por dos Exocet, lanzados



1. EL H.M.S. "SHEFFIELD" arde de forma incontrolada tras ser alcanzado por un misil Exocet lanzado desde un avión argentino durante la guerra de las Malvinas del año 1982. El misil, de pequeño tamaño, vuela a ras de las olas y está dotado de un sistema de autoguiado por radar; lo disparó desde unos 30 kilómetros de distancia un caza-bombardero del tipo Super Étendard en vuelo rasante. (Ambos, el misil y el avión, son de fabricación francesa.) El destructor británico del tipo 42, de 4000 toneladas de desplazamiento, estaba equipado con misiles antiaéreos Sea Dart y otros modernos sistemas de defensa de buques. Recibió el impacto aproximadamente en el centro del casco, casi dos metros por encima de la línea de flotación, en las proximidades del centro de operaciones del buque. Esta fotografía aérea se tomó antes de darse la orden de abandonar el buque. Se distinguen sobre las cubiertas de proa y popa a los miembros de la tripulación no dedicados a luchar contra el fuego. Un pequeño bote hinchable se aleja del navío después de un recorrido de inspección de los daños. Los británicos decidieron finalmente echar a pique el casco incendiado del *Sheffield*. Veinte marineros perecieron en el ataque.



MISILES ANTIBUQUE	AÑO DE PUESTA EN SERVICIO	ALCANCE (KILO-METROS)	VELOCIDAD (NUMERO DE MACH)	TIPO DE OJIVA	COSTE ESTIMADO ($ DE 1982)
EXOCET AM 39 (FRANCIA)	1979	50+	0,93	CONVENCIONAL	?
GABRIEL MK III (ISRAEL)	1979	60+	0,73	CONVENCIONAL	400.000
HARPOON RGM-84A (EE.UU.)	1977	90	0,90	NUCLEAR O CONVENCIONAL	1 MILLON
TOMAHAWK BGM-109 (EE.UU.)	1982	450	0,74	NUCLEAR O CONVENCIONAL	3 MILLONES
STYX SS-N-2C (U.R.S.S.)	1965(?)	80	0,90	CONVENCIONAL	?
KITCHEN AS-4 (U.R.S.S.)	1962	300+	2+	NUCLEAR O CONVENCIONAL	?

2. MISILES ANTIBUQUE MAS REPRESENTATIVOS. Se ilustran a escala en la parte superior de la figura; se reseñan sus características en la tabla inferior. Los misiles del tipo Exocet se han proyectado para lanzarlos desde aeroplanos, helicópteros, buques e instalaciones costeras; el modelo concreto que aquí se muestra, el Exocet AM 39, se arroja desde un avión; es el que destruyó al *Sheffield*. El misil antibuque ruso que los servicios de información occidentales denominan Styx lo utilizó la marina egipcia en 1967 para hundir al destructor israelí *Elath*. El gran misil ruso denominado AS-4 se carga en el bombardero Backfire; puede llevar una ojiva convencional de material altamente explosivo o una ojiva nuclear. Los números de Mach son múltiplos de la velocidad del sonido, unos 340 metros por segundo.

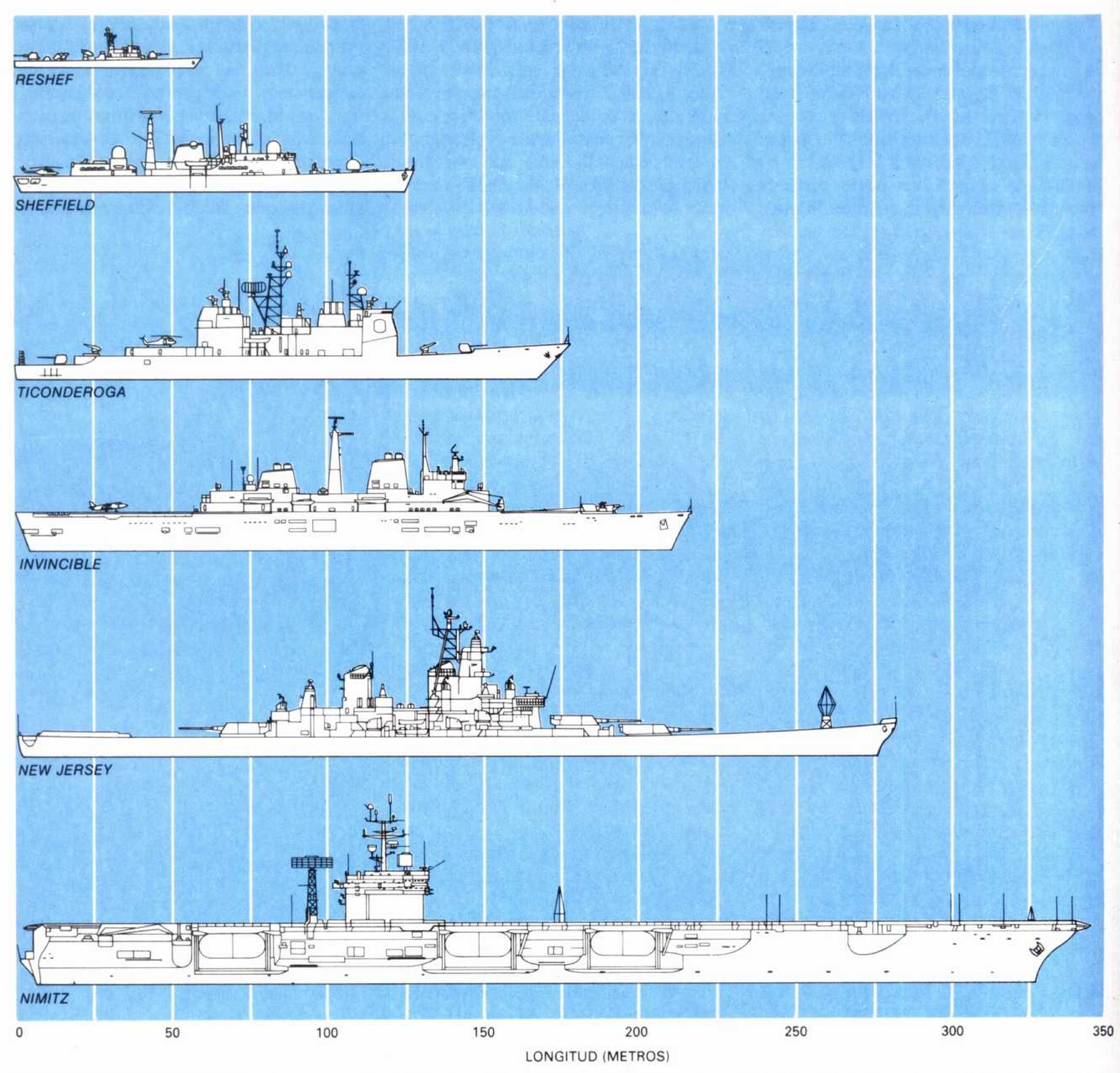
también desde aviones Super Étendard. El ataque de un quinto Exocet, cinco días más tarde, falló. El sexto, lanzado desde una batería costera el 11 de junio, alcanzó al destructor portamisiles H.M.S. *Glamorgan*, que resultó seriamente dañado, aunque permaneció a flote.

La proporción del 67 por ciento de éxitos del Exocet es notable, dado lo novedoso que los aviones y el sistema de misiles franceses resultaban para las fuerzas argentinas. Cabe señalar al respecto que los argentinos encontraron dificultades para armar adecuadamente los Exocet durante la guerra. Cuando el primer misil perforó el casco del *Sheffield*, su ojiva no hizo explosión; sin embargo, contenía aún una cantidad importante de propulsor no consumido, que hizo explosión e incendió parte del combustible del buque. Por fortuna para el bando argentino, el misil hizo impacto en un punto particularmente vital, próximo al centro de operaciones del buque.

El éxito del Exocet al destruir un objetivo cientos de veces más caro ha sido interpretado, en general, como una demostración de la vulnerabilidad que acecha a todos los buques de guerra de superficie. Pero algunos analistas militares extraen conclusiones completamente diferentes. Portavoces navales británicos, por ejemplo, citan el incidente del *Sheffield* en apoyo de su petición para una reconstrucción acelerada de la flota de superficie británica; señalan que el *Sheffield* se proyectó para tareas de defensa de zona, en coordinación con las grandes flotas de la OTAN y con la cobertura aérea altamente capacitada de los portaeronaves de la fuerza expedicionaria norteamericana en el Atlántico Norte. Los oficiales navales británicos critican las reducciones de los presupuestos de defensa de su país durante la pasada década, señalando que hace menos de veinte años había en la flota británica cinco portaviones de cubierta larga. El último portaeronaves de ese tipo, el H.M.S. *Ark Royal* fue retirado del servicio en 1978, dejando la cobertura aérea de la flota a los portaeronaves, de mucho menor tamaño, de las clases *Hermes* e *Invincible*, aptos tan sólo para aviones de despegue vertical.

El Departamento de Marina estadounidense opina de forma parecida. El secretario del organismo, John F. Lehman, Jr., sostiene que no debe sorprender que un misil autoguiado de las características del Exocet alcanzara a un buque aislado, en tareas de descubierta, sin adecuada defensa anti-misil y sin cobertura aérea, y añade que: "si un buque norteamericano hubiera sido el objetivo de un ataque argentino, no habría penetrado en el radio de destrucción del misil".

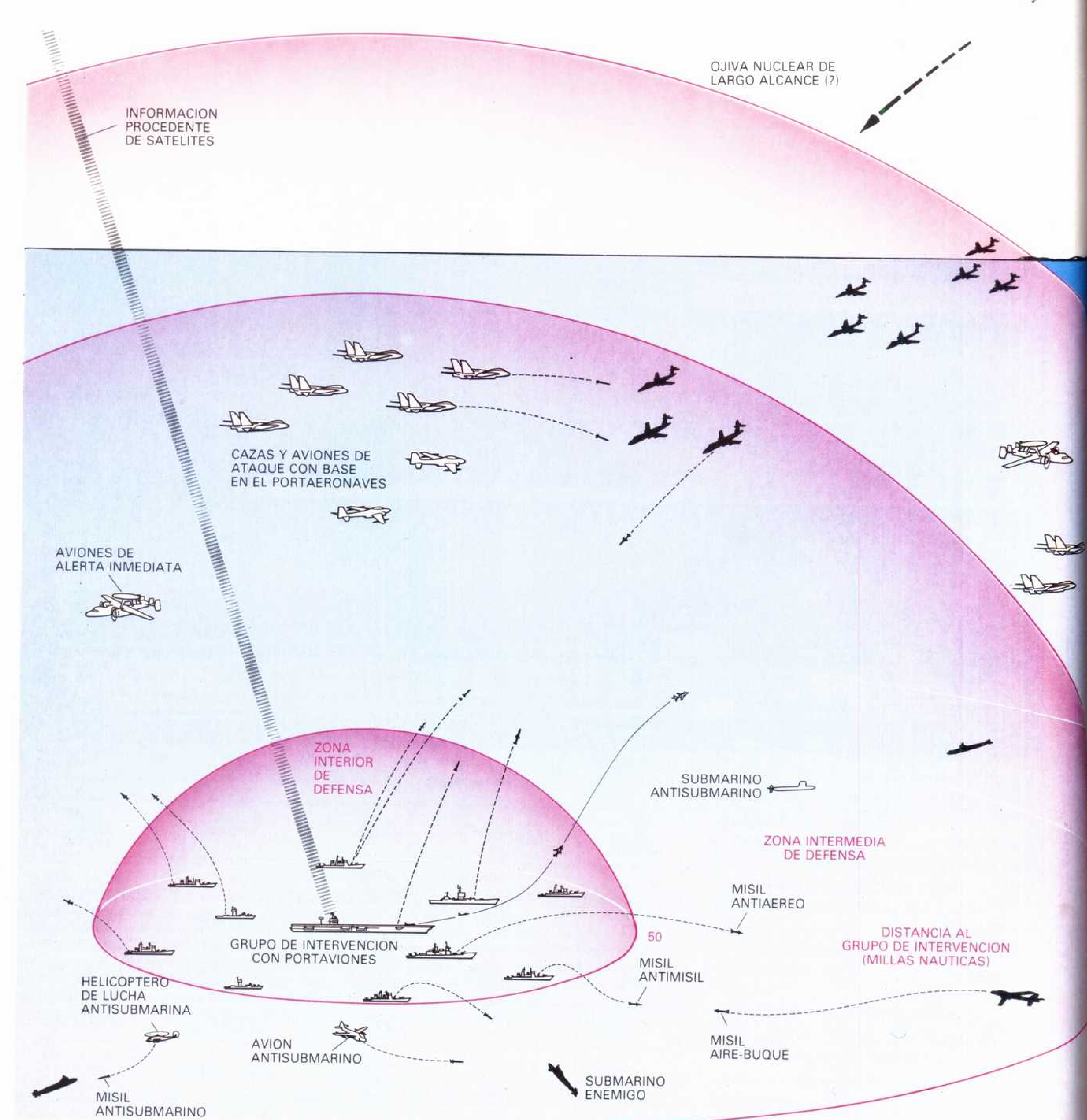
En este punto probablemente lleve razón Lehman. Los Estados Unidos despliegan sus fuerzas navales, que ahora suman casi 500 buques de guerra, alrededor de 13 grandes portaviones de cubierta larga. Los planes en desarrollo pretenden incrementar el número de buques a más de 600, que se organizarían en 15 grupos de intervención y cuatro de combate. (Cada una de estas últimas formaciones se centraría en un



BUQUE	AÑO DE PUESTA EN SERVICIO	DESPLA-ZAMIENTO (TONELADAS)	TRIPU-LACION (HOMBRES)	CAÑONES	MISILES	AVIONES	COSTE ESTIMADO ($ DE 1982)
RESHEF (ISRAEL)	1973	450	45	2 76 mm. 2 20 mm.	5 GABRIEL 4 HARPOON	0	50 MILLONES
SHEFFIELD (GRAN BRETAÑA)	1975	4000	270	1 115 mm. 2 20 mm.	20 SEA DART	1 HELICOPTERO	150 MILLONES
TICONDEROGA (EE.UU.)	1983	9000	330	2 127 mm. 2 20 mm.	68 STANDARD 8 HARPOON 20 ASROC	2 HELICOPTEROS	1000 MILLONES
INVINCIBLE (GRAN BRETAÑA)	1980	20.000	1300	0	22 SEA DART	5+ AVIONES Y 9 HELICOPTEROS	525 MILLONES
NEW JERSEY (EE.UU.)	1943 (REACTIVADO 1983)	58.000	1600	9 406 mm. 12 127 mm. 4 20 mm.	16 HARPOON 32 TOMAHAWK	4 HELICOPTEROS	326 MILLONES (SOLO LA MODERNIZACION)
NIMITZ (EE.UU.)	1975	91.000	6300	3 20 mm.	24 SEA SPARROW	80+AVIONES Y 10+ HELICOPTEROS	3500 MILLONES

3. BUQUES DE GUERRA MAS REPRESENTATIVOS. Las rápidas patrulleras israelíes de la clase *Reshef* constituyen un ejemplo de los cientos de pequeños navíos lanzamisiles que se están introduciendo en muchas fuerzas navales. El norteamericano *Ticonderoga* es el primero de los 17 modernos cruceros de defensa programados por la armada estadounidense para su flota. Los portaeronaves de despegue vertical, como el *Invincible*, han reemplazado a los portaviones de cubierta larga en la flota británica. El acorazado norteamericano *New Jersey*, construido durante la segunda guerra mundial, ha entrado de nuevo en servicio a principos de este año. La administración Reagan proyecta construir al menos dos portaviones de la clase *Nimitz*.

acorazado modernizado, procedente de la segunda guerra mundial.) Un grupo de intervención es una formidable fuerza de combate. Un portaeronaves de propulsión nuclear de la clase *Nimitz* desplaza aproximadamente 90.000 toneladas, cuatro veces el desplazamiento de cada uno de los portaeronaves británicos que intervinieron en la guerra de las Malvinas (y más de 20 veces el desplazamiento del *Sheffield*). El U.S.S. *Nimitz* tiene una cubierta de vuelo de casi 2 hectáreas, y transporta un centenar de aeronaves: aviones de caza, bombarderos, aviones de vigilancia marítima y de lucha antisubmarina (helicópteros incluidos), y helicópteros de servicio interior y de rescate. Al menos dos tercios de las aeronaves están empeñadas en la defensa de la flota contra el ataque de aviones, buques de superficie y submarinos. La treintena de aviones restante se reserva para el ataque. Un grupo de intervención incluye además cierto número de otros buques –cruceros, destructores, submarinos y buques de abastecimiento– cuya



4. ZONAS DE DEFENSA previstas para proteger un grupo de intervención con portaviones contra diversos ataques. En la zona exterior, los aviones, submarinos y buques de superficie agresores son detectados e identificados por satélites de vigilancia o por aviones de alerta inmediata con base en el portaviones, submarinos y aviones de lucha antisubmarina. En la zona intermedia, misiles superficie-aire y misiles antisubmarinos lanzados por buques y helicópteros se oponen a los aviones, misiles y submarinos atacantes. En la zona interior se utilizan, como último recurso, los sistemas de "defensa pun-

misión consiste en proteger y pertrechar en la mar al grupo de intervención por períodos de hasta seis meses.

La defensa de un grupo norteamericano de intervención se articula en tres grandes zonas. En la zona exterior, los principales interceptores son submarinos y aviones con base en el portaeronaves; en la zona intermedia predominan los misiles lanzados desde buques y helicópteros; finalmente, en la zona interior se utilizan como último recurso armas de defensa puntual, de corto alcance, como misiles antimisil y cañones automáticos de tiro rápido. El supuesto agresor –avión, misil, barco o submarino– habría de atravesar con éxito las tres zonas para alcanzar al buque insignia: el portaeronaves.

Un portaviones de la clase *Nimitz* dispone de cuatro aviones E-2C de alerta inmediata, equipados con radares de vigilancia de largo alcance. El E-2C vuela por encima o cerca del grupo de intervención, a 7500 o 9000 metros de altitud, extendiendo "el campo de visión" del grupo de combate desde las 30 millas náuticas hasta más de 200 millas. Se dice que el E-2C detecta, identifica y sigue más de 600 objetivos aéreos y de superficie simultáneamente. Puede dirigir más de 40 aviones de combate desde sus circuitos de patrulla aérea hacia objetivos distintos.

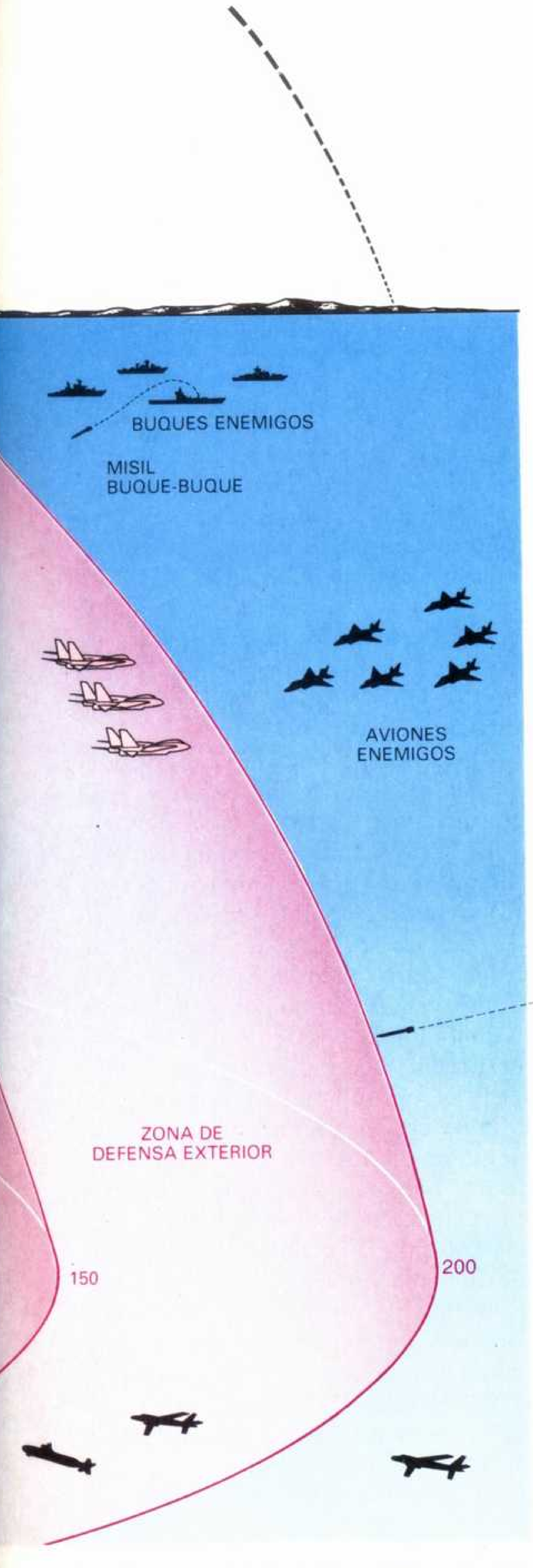
El principal avión de combate con base en portaeronaves de la armada norteamericana es, hoy, el F-14, un avión a reacción de geometría variable y elevadas prestaciones que puede volar a velocidades superiores a Mach 2 (es decir, más de dos veces la velocidad del sonido). El F-14 está equipado con ocho misiles aire-aire con guía de precisión y cañón de 20 milímetros. Los aviones en servicio de patrulla aérea se mantienen alejados unos 250 o 350 kilómetros del portaviones; son capaces de detectar bombarderos a 270 kilómetros y misiles-crucero a 100 kilómetros. El sistema de radar del F-14, que dispara los misiles Phoenix, puede vigilar simultáneamente 24 objetivos y coordinar al mismo tiempo el ataque sobre seis, hasta un alcance máximo de 95 kilómetros. En resumen, la zona de defensa exterior de un grupo de intervención norteamericano está bien equipada para hacer frente a amenazas múltiples hasta distancias de más de 300 kilómetros del portaviones.

La segunda zona de defensa se apoya principalmente en los misiles superficie-aire, con base en el resto de los buques del grupo de intervención. La mayor parte de los cruceros, destructores y fragatas de la marina estadounidense están equipados con lanzamisiles superficie-aire, que disparan misiles Talos, Terrier, o Tartar. En la actualidad están entrando en servicio los más modernos misiles antiaéreos de la flota norteamericana, los Standard 1 y Standard 2, capacitados para salir al paso de cualquier avión enemigo a distancias comprendidas entre 6,5 y 140 kilómetros y a altitudes de hasta 24.000 metros. El tiempo adquiere aquí importancia vital; se dispone de minutos escasos para interceptar un avión supersónico o un misil en la zona de defensa media.

Si algún avión o misil logra atravesar las dos primeras zonas de defensa, restan aún diversas opciones para detenerlo. En los últimos kilómetros de vuelo, el atacante puede ser abatido por los cañones antiaéreos clásicos, presentes todavía en la gran mayoría de los buques, pero a buen seguro se les opondrán también modernos sistemas de defensa puntual. El más moderno de los misiles de defensa puntual a bordo de los buques norteamericanos es el Sea Sparrow de la OTAN, un misil supersónico de unos cuatro metros de longitud, provisto de un sistema de autoguiado por radar. El más moderno de los cañones de defensa puntual es el Phalanx, de tipo Gatling, que pesa seis toneladas, totalmente automático y con seis tubos giratorios, del que se dice que es capaz de disparar una "muralla de proyectiles" a una cadencia de 50 disparos por segundo. Los proyectiles tienen un núcleo de uranio empobrecido, extremadamente denso, que les confiere una potente capacidad de perforación. El fuego se abre contra el objetivo que se aproxima mediante un sistema de control en "bucle cerrado", que simultáneamente sigue a los proyectiles y al objetivo, ajustando la puntería del cañón hasta el impacto sobre aquél. Si a bordo del *Sheffield* hubiera habido un Phalanx quizá habría detenido al Exocet; así parecen creerlo los británicos, puesto que acaban de instalar dos de esos cañones en su más moderno portaviones: el H.M.S. *Illustrious*.

Además de tales sistemas de defensa puntual activa, se cuenta con un amplio abanico de contramedidas pasivas: maniobras evasivas, perturbación electrónica del radar del atacante, lanzamiento de señuelos de infrarrojos o dispersión de nubes de cintas metálicas que confunden a los sistemas radáricos de guía de los misiles que se aproximan. Tanto los señuelos de infrarrojos como las nubes de cintas metálicas los utilizaron con éxito los ingleses en la guerra de las Malvinas.

En sus continuos esfuerzos por reforzar la defensa de los buques, la marina norteamericana encargó a principios de este año su primer crucero portamisiles, de la clase Ticonderoga, muy bien



tual": cañones de tiro rápido y misiles antimisil de alta velocidad. Las tres zonas se delimitan aquí un tanto arbitrariamente; de hecho se solapan considerablemente. Las siluetas no están a escala.

equipado para la defensa de un grupo de intervención centrado en un portaeronaves. La marina estadounidense ha propuesto la construcción de 17 de esos navíos, cuyo coste es de unos 1000 millones de dólares la unidad; todos ellos estarían dotados del nuevo sistema de mando y decisión Aegis e irían equipados con 68 misiles Standard 2, 20 misiles ASROC, ocho misiles Harpoon contra buques de superficie y dos cañones Phalanx, además de otras armas menores. El corazón del sistema Aegis es el radar Spy-1, de haces múltiples, capaz de barrer el horizonte en la cuarta parte del tiempo que sus predecesores. El sistema ha sido diseñado para detectar y seguir objetos que se aproximen en mayor número y en las circunstancias más extremas (altas y bajas cotas, altas y bajas velocidades, grandes y pequeñas superficies de reflexión radárica), con una rapidez, flexibilidad y potencia de fuego sin precedentes.

La defensa de la flota americana parece altamente eficaz. Si tal fuerza de intervención hubiese entrado en combate en las Malvinas pocos, si alguno, de los misiles de vuelo rasante habrían alcanzado sus objetivos. No obstante, la confianza en las defensas de cualquier flota debe matizarse, particularmente a la vista de ciertas limitaciones operativas evidentes, de la pasada experiencia y en consideración al potencial del enemigo.

Las limitaciones operativas de las defensas de la flota americana son numerosas. Si los aviones E-2C de patrulla aérea detectan un ataque, el portaviones puede enviar, como máximo, 24 aviones de caza, equipado cada uno con ocho misiles aire-aire. Ello supone un total de 192 disparos contra los aviones y los misiles atacantes, lo que probablemente basta en enfrentamientos circunscritos, pero no en un conflicto generalizado. Por esa razón, y por otras, las fuerzas de intervención apoyadas en portaviones suelen operar por parejas, duplicando el número de aviones interceptores disponibles.

Según la marina americana, los misiles Phoenix a bordo de los cazas F-14 tienen una probabilidad de destrucción del 80 por ciento. Sin embargo, el Servicio de Adquisiciones (*General Accounting Office*) informó al Congreso en 1979 de que el arma no sería capaz de mantener tal nivel de eficacia frente a la actual generación de aviones de combate rusos. Otro misil aire-aire del arsenal norteamericano, el Sidewinder, dotado de cabeza buscadora de infrarojos, demostró su gran fiabilidad en el conflicto de las Malvinas, abatiendo 24 de los 27 aviones contra los que fue disparado, esto es, una probabilidad de destrucción del 89 por ciento. No obstante, parece inevitable cierta penetración del perímetro de defensa exterior de un grupo de intervención. Podría lograrse mediante una combinación de tácticas, como perturbación de los radares de la defensa, ataque con éxito sobre los aviones E-2C o F-14, despliegue de señuelos o simplemente por saturación de las defensas con un abrumador número de aviones y misiles atacantes.

La eficacia de la zona intermedia de defensa de la flota depende de la potencia y de la rapidez del sistema de control del combate defensivo. Los misiles y aviones supersónicos atacantes obligan a que en pocos minutos el sistema defensivo detecte el objetivo, lo identifique, lo siga, lo traspase al radar de control de fuego y dispare el misil de defensa; todo ello antes de que el enemigo se sitúe a pocos kilómetros del portaeronaves.

A falta del sistema Aegis, se considera que el sistema de defensa misil superficie-aire Tartar-D es el más eficaz de la flota norteamericana. No obstante, presenta graves limitaciones operativas; por ejemplo: las antenas giratorias de sus radares de exploración tardan cuatro segundos en barrer el horizonte, estableciendo por consiguiente un límite inferior al tiempo de reacción del sistema, factor importante al identificar y seguir un objetivo. Por otra parte, la detección, identificación y seguimiento de un objetivo los realizan operadores humanos hasta que el sistema se fija sobre el objetivo, lo que hace difícil enfrentarse a objetivos múltiples que vuelen a velocidades supersónicas. De hecho, en un reciente estudio del Congreso norteamericano, se calificó el tiempo de reacción y la potencia de fuego del sistema Tartar de "inadecuados", insistiendo en la "considerable degradación" que sufren frente a refinadas contramedidas electrónicas. Se apreció también una grave falta de coordinación del control de fuego dentro de un grupo de intervención. Podía darse el caso de que varios sistemas tipo Tartar se fijaran sobre un mismo mi-

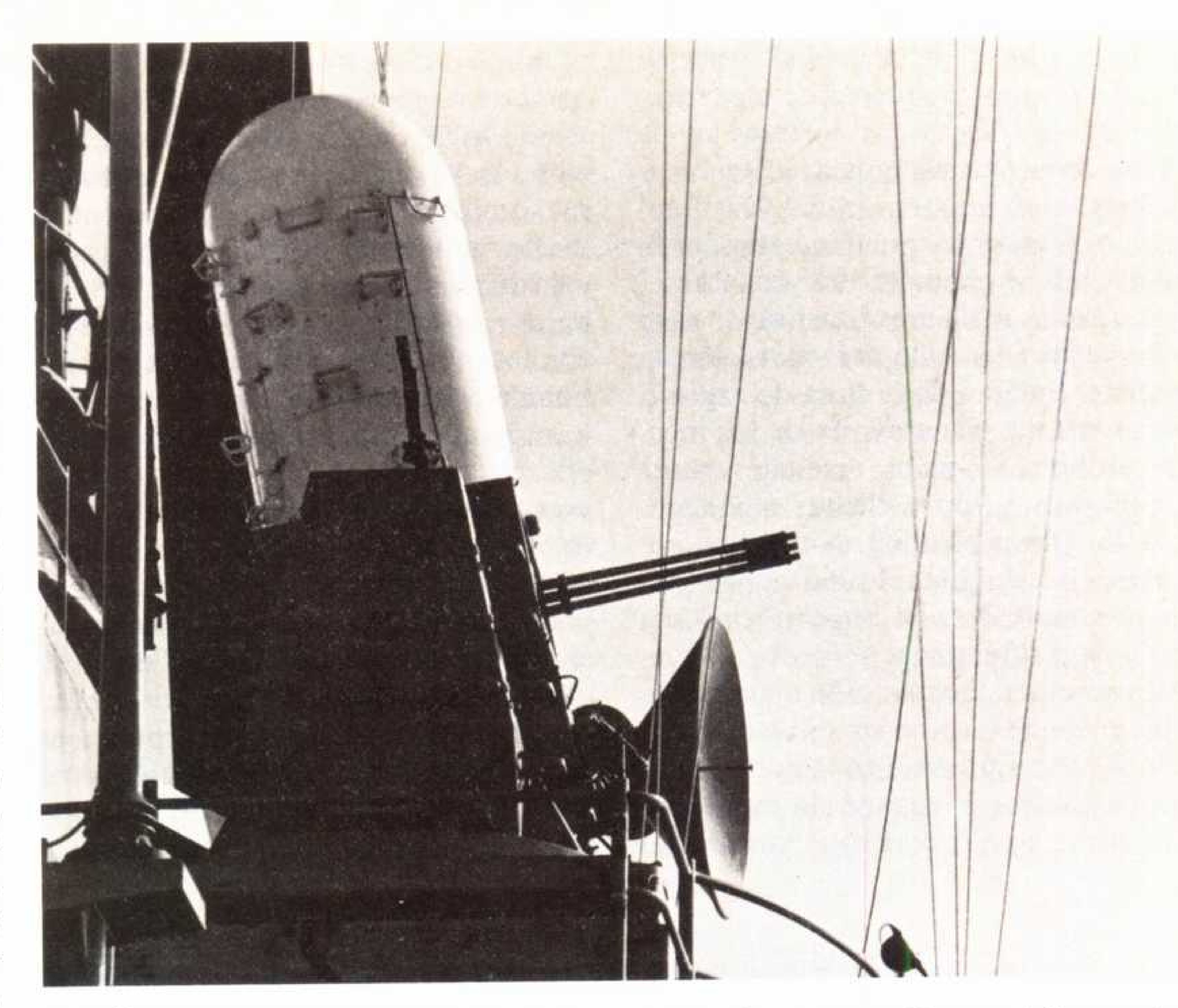


5. DISPARO DE ENSAYO del nuevo misil superficie-aire denominado Standard 2 desde un lanzador de tipo rail instalado sobre la cubierta del crucero portamisiles norteamericano *Wainwright*. Se prevé que los misiles Standard 1 y Standard 2 remplacen a los misiles Tartar y Terrier como misiles antiaéreos básicos de medio y largo alcance de la flota de los Estados Unidos. Se situarían en la segunda zona de defensa.

sil agresor, permitiendo que otras armas atravesaran la zona de defensa intermedia.

El sistema de control Aegis resuelve algunas de esas dificultades operativas. El misil Standard 2 le proporciona mayor potencia de fuego; su radar de exploración de múltiples haces (que apunta el haz electrónicamente, en vez de mecánicamente) barre el horizonte en tan sólo un segundo; está totalmente automatizado y coordina mejor el control de fuego dentro del grupo de intervención. Según se ha expresado, el sistema Aegis carece también de capacidad de interceptar misiles que vuelen a ras de las olas, como el Exocet. Se ha diseñado, fundamentalmente, para protegerse a sí mismo y a cualquier buque que; con relación al misil atacante, se halle detrás de él. Por consiguiente, en términos operativos, el Aegis puede enfrentarse con múltiples amenazas, pero sólo dentro de un sector limitado; si los misiles atacantes llegaran simultáneamente desde diversas direcciones, en fuego cruzado, la penetración estaría poco menos que asegurada.

Esto cede a la zona interior, de defensa puntual, la tarea de elegir y destruir (o al menos desviar) los misiles y aviones restantes. Las exigencias son aquí mucho más estrechas: ante un misil que llegue a la velocidad del sonido (Mach 1) no puede demorarse la reacción más allá de 30 segundos. Contra el misil que se aproxima puede dispararse un misil antimisil, como el Sea Sparrow de la OTAN, o un cañón automático de alta cadencia, como el Phalanx. Pero uno y otro presentan sus propias exigencias. El misil Sea Sparrow se dispara desde un lanzador montado en cubierta que contiene solamente ocho misiles, y por consiguiente puede caer arrollado. El Phalanx tiene una cadencia de tiro impresionante (3000 disparos por minuto), pero su depósito de municiones alberga sólo 989 proyectiles, que se agotan en menos de 20 segundos de fuego a cadencia máxima. También puede saturarse. Por último, las contramedidas pasivas que pretenden "despistar" al misil, en vez de destruirlo, pueden ser eficaces en ciertas circunstancias, pero no en otras, como demuestra la experiencia del Atlántico Sur.



6. CAÑON ANTIMISIL PHALANX. Es el primer cañón totalmente automático para defensa puntual, en todo tiempo, de la armada estadounidense. El cañón, de tipo Gatling, con seis tubos de 20 milímetros, dispara proyectiles con núcleo de uranio empobrecido a alta velocidad a una cadencia de 50 disparos por segundo. No obstante, presenta ciertas limitaciones operativas; su depósito de municiones contiene sólo 989 disparos, lo que únicamente permite hacer fuego a cadencia máxima durante menos de 20 segundos; sus tubos se inutilizan por desgaste a los siete minutos de fuego a cadencia máxima y el arma queda inutilizada tras 50 minutos de fuego. Es poco adecuada para responder, a la vez, a varios objetivos.

El último recurso de un buque es encajar el impacto de un misil, como hizo el *Sheffield*, y controlar el daño, lo que el *Sheffield* no logró. Los ingenieros navales ponen su atención en los sistemas de control de daños, que permitan a un buque sobrevivir a un primer impacto y, a ser posible, continuar las operaciones. La marina norteamericana sostiene que sus buques se han proyectado para soportar varios impactos antes de retirarse de la línea de fuego. Los cascos de la mayoría de los grandes buques de guerra están divididos en compartimentos y fuertemente blindados con planchas de acero; las superestructuras, aunque se construyen a menudo de materiales ligeros, como el aluminio, se recubren en los navíos más modernos con una capa de Kevlar, un blindaje protector constituido por una resina rígida. El espesor del blindaje de acero del acorazado norteamericano *New Jersey*, devuelto al servicio activo recientemente, es en muchos lugares de más de 30 centímetros; es dudoso que un misil Exocet pudiese penetrar gran trecho en tal blindaje.

Sin embargo, la historia de la guerra naval está repleta de incidentes en los que acciones hostiles de aparente insignificancia o accidentes fortuitos a bordo pusieron fuera de servicio a buques de guerra. El almirante alemán Alfred Von Tirpitz señalaba en cierta ocasión que tres eran los objetivos de todo buque de guerra: primero, mantenerse a flote; segundo, mantenerse a flote y tercero, mantenerse a flote. Los grandes buques de guerra modernos lo logran después de recibir el impacto de un arma inteligente, o incluso de varias; lo de continuar las operaciones con normalidad es ya otra cuestión. Los estados mayores de la armada admiten que, en una guerra moderna, los grandes buques de guerra permanecerán fuera de la línea de fuego hasta que el enemigo haya sido neutralizado, muy probablemente por acción aérea.

La vulnerabilidad de la flota norteamericana se hace más evidente cuando se considera la amenaza potencial máxima a que se enfrenta: no a media docena de misiles Exocet disparados desde unos pocos aviones Super Étendard, sino a la flota rusa, con más de 700 buques de superficie (limitados principalmente a fragatas, corbetas y barcos de vigilancia costera), casi 300 submarinos (la mayoría con propulsión diesel) y más de 1500 misiles crucero antibuque. Los misiles, con base en barcos de superficie, submarinos, aviones y baterías de costa, tienen alcances de 560 kilómetros y velocidades de hasta 4 Mach. El cañón Phalanx, proyectado para detener un misil en el kilómetro final de su vuelo, dispondría de poco más de un segundo para abatirlo cuando se apro-

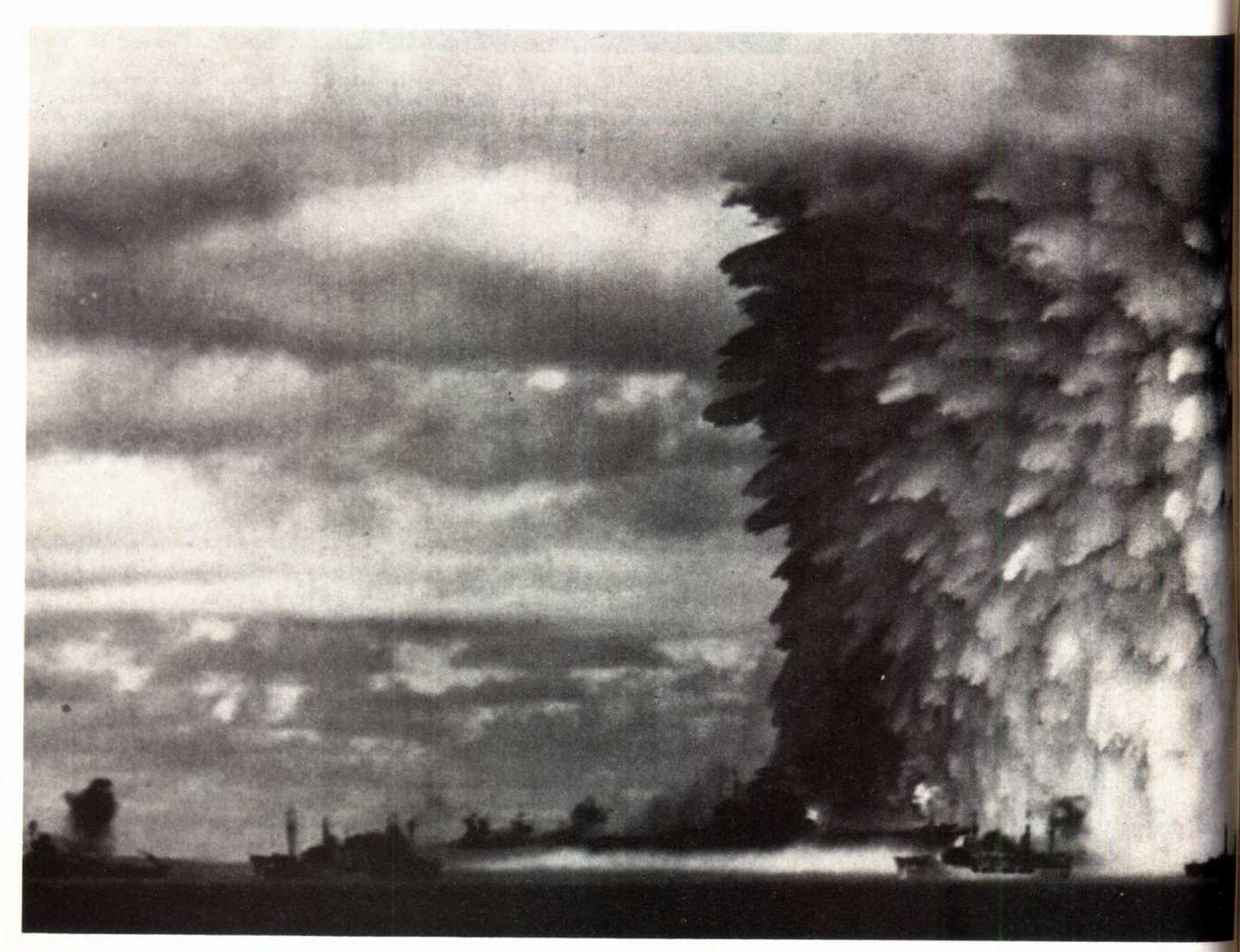
ximara a 4 Mach de velocidad. Aunque no cabe encontrar muchos de esos misiles fuera de las zonas costeras de la Unión Soviética algunos aviones rusos de mayor autonomía, como los bombarderos Backfire, pueden extender la amenaza hasta blancos más distantes.

Las armas nucleares constituyen otro factor crítico en cualquier valoración de la vulnerabilidad de la flota de superficie americana. La mayoría de los misiles antibuque de los arsenales rusos transportan ojivas nucleares o convencionales (no nucleares). Ningún buque sobrevivirá a una explosión nuclear en sus proximidades, no importa cuál sea su tamaño o blindaje.

En resumen, la aparición de los misiles inteligentes, con o sin ojiva nuclear, ha obligado a primar, en la guerrra naval, la cautela, el engaño, la movilidad y la dispersión, a costa del tamaño, el blindaje o la potencia de fuego coordinada de la defensa. Sin duda la ventaja tecnológica continuará alternando de algún modo entre el ataque y la defensa, como ha sucedido en el pasado. Los misiles antibuque serán más precisos, más dúctiles, de mayor alcance, más rápidos e insidiosos, y lo mismo sucederá con los misiles de la defensa. Al mismo tiempo, los buques de guerra irán transformándose en plataformas más eficaces, con mejores radares y sistemas de control de fuego, cañones de tiro rápido, misiles antimisiles y contramedidas pasivas. Sin embargo, a largo plazo, podrá prescindirse paulatinamente de los navíos de superficie.

Esta conclusión nos lleva a poner en entredicho la actual estrategia naval de los Estados Unidos. Se pretende mantener una supremacía marítima basada en los grandes portaviones de cubierta larga. El secretario de Marina Lehman explica al respecto: "Los portaviones son la única manera de conseguir la superioridad sobre siete décimas partes de la superficie terrestre". También el secretario de Defensa, Caspar W. Weinberger,argumenta que la guerra de las Malvinas refuerza la necesidad de disponer de más portaviones, y que, en todo caso, no enseña ninguna lección desconocida.

Quizá las enseñanzas no sean nuevas, pero sí sirven de advertencia. Los buques de guerra de gran tamaño corren cada vez mayor peligro, con independencia del armamento con que cuenten, frente al ataque de torpedos y misiles inteligentes, más baratos en comparación. Para que un grupo de intervención con portaeronaves sea eficaz frente a un adversario bien dotado,



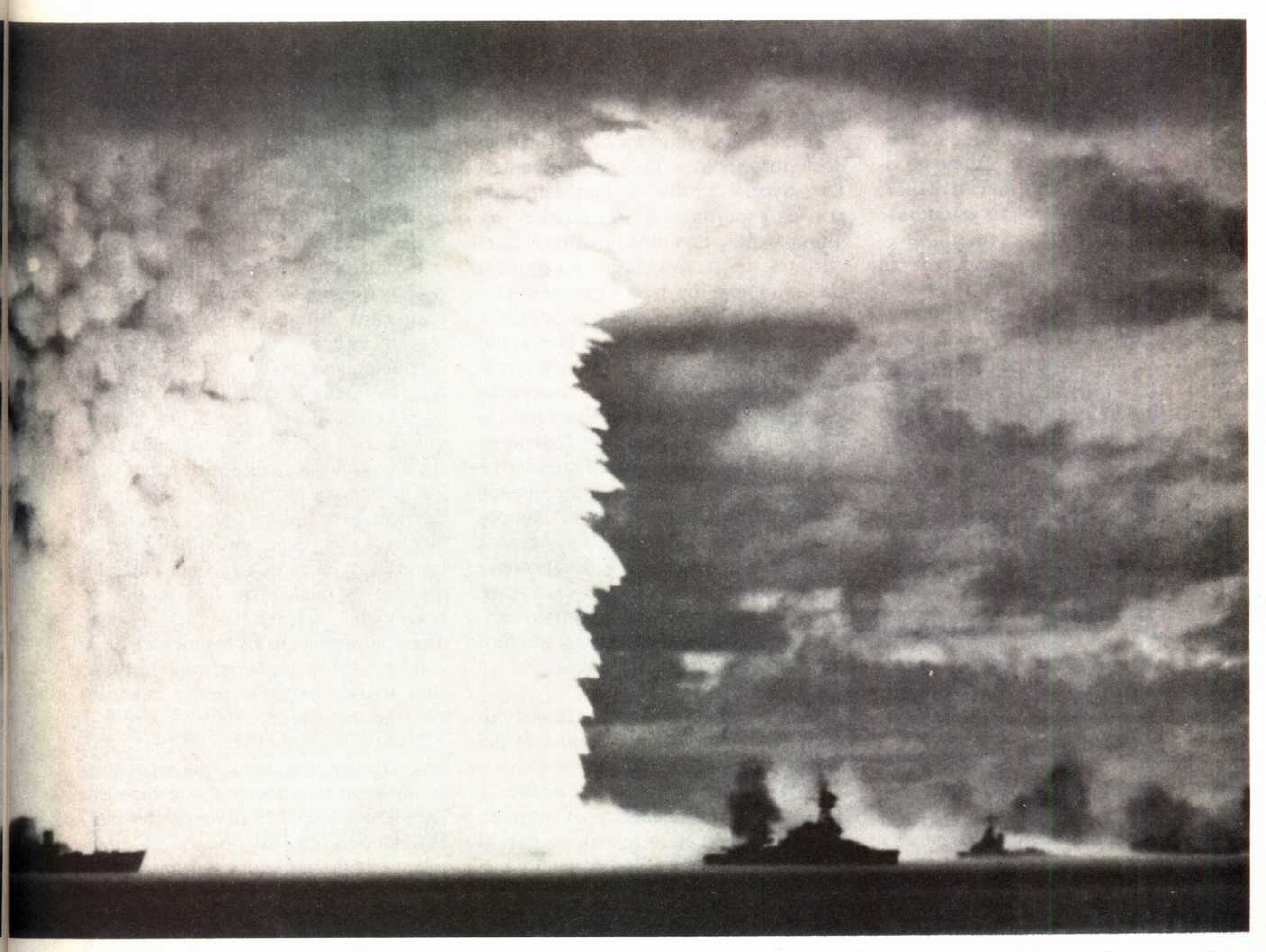
7. ARMA ANTIBUQUE DEFINITIVA, disponible actualmente en los arsenales de los Estados Unidos y la Unión Soviética para su posible utilización contra las fuerzas navales adversarias. Se trata de la ojiva nuclear de largo alcance y con guía de precisión. Esta fotografía de la explosión experimental de Baker, detonada por los Estados Unidos en el atolón de Bikini en 1946, da idea de los efectos de tal ataque hipotético. Se anclaron unos 70 buques de diversos tipos sin tripulación alrededor del punto de explosión, situado bajo la superficie del agua y a escasa profundidad; la potencia de la explosión fue de

como la Unión Soviética, hay que presumir que (1) la flota permanecerá oculta; (2) se destruirán todos los misiles y aviones atacantes y (3) no se emplearán ojivas nucleares. Dada la eficacia creciente del reconocimiento aéreo y por satélite, la permeabilidad de las defensas de las flotas y el fuerte apoyo de los rusos en las armas nucleares, según sus planes militares, ninguno de esos supuestos parece plausible.

Por ende, puede suceder que la propia armada estadounidense considere su flota un despilfarro. El almirante en la reserva Hyman G. Rickover, "padre" de los navíos con propulsión nuclear, testificaba el pasado año ante una comisión del Congreso que, en un conflicto generalizado, un moderno portaviones duraría "aproximadamente un par de días". Los jefes de la Junta de Estado Mayor bosquejan la necesidad de 25 de tales portaeronaves, para "riesgos mínimos"; ese número, o uno mayor, sólo bastaría para evitar el desgaste en un conflicto generalizado. Con todo, un nuevo portaviones de 90.000 toneladas, cuya construcción puede costar 3500 millones de dólares (en dólares de 1982) y otros 15.000 millones de dólares para los pertrechos y mantenimiento, y que tiene una tripulación de más de 6000 hombres, no es cosa baladí.

A la vez que satisfacen el objetivo previsto de "controlar los mares" y "proyectar potencia", los grupos de intervención basados en portaviones se han previsto para intervenciones en lugares remotos. Sin embargo, a medida que las modernas técnicas antibuque se extiendan al Tercer Mundo, incluso las pequeñas naciones representarán una seria amenaza para los grandes navíos de superficie de las potencias más importantes.

Quizá la lección final de la guerra de las Malvinas sea que, si volviera a desencadenarse, sería aún más costosa. Los días de la "diplomacia de la cañonera" han pasado, por mucho que algunas de las grandes potencias se resistan a reconocerlo. Los hábitos militares cambian lentamente. Pero, a la larga, se dará paso al reconocimiento de que el combate naval se librará con misiles y aviones (con base en tierra), barcos pequeños (dúctiles, rápidos y de fácil sustitución, armados de misiles con guía de precisión y largo alcance) y submarinos. Portaviones, acorazados puestos de nuevo en servicio y demás grandes –y costosos– buques de superficie mantendrán un cometido seguro: ostentar la enseña en aguas pacíficas.



unos 20 kilotones (pequeña para las posibilidades actuales). Los buques sufrieron daños por diversas causas, entre otras, ondas de choque aéreas y submarinas, así como olas de las aguas superficiales. El portaviones *Saratoga*, por ejemplo, anclado a unos 350 metros del "punto cero", quedó con la parte central de la estructura de su puente plegada sobre la cubierta a causa de una ola de 30 metros generada por la explosión. Por supuesto, los efectos de la radiación sobre la tripulación, en caso de un ataque como el indicado, superarían en mucho los efectos destructivos inmediatos sufridos por los buques.

Bibliografía

Los lectores interesados en una mayor profundización de los temas expuestos pueden consultar los trabajos siguientes:

ARMAS INTELIGENTES EN LA GUERRA NAVAL

SHAPING THE GENERAL-PURPOSE NAVY OF THE EIGHTIES: ISSUES FOR FISCAL YEARS 1981-1985. Congressional Budget Office. U.S. Government Printing Office, 1980.

THE FALKLANDS CAMPAIGN: THE LESSONS. Secretary of State for Defence. Her Majesty's Stationery Office, 1982.

VIBRACIONES DEL NUCLEO ATOMICO

NUCLEAR VIBRATIONS. G. F. Bertsch en *Nature*, vol. 280, n.° 5724, páginas 639-644; 23 de agosto de 1979.

GIANT RESONANCES IN NUCLEI. J. Speth y A. van der Woude en *Reports on Progress in Physics*, vol. 44, 3.ª parte, págs. 719-786; 1981.

DAMPING OF NUCLEAR EXCITATIONS. G. F. Bertsch, P. F. Bortingnon y R. A. Broglia en *Reviews of Modern Physics*, vol. 55, n.° 1, págs. 287-314; enero, 1983.

MICROCUERPOS CELULARES

LOCALIZATION OF NINE GLYCOLYTIC ENZYMES IN A MICROBODY-LIKE ORGANELLE IN *TRYPANOSOMA BRUCEI*: THE GLYCOSOME. Fred R. Opperdoes y Piet Borst en *FEBS Letters*, vol. 80, n.° 2, págs. 360-364; agosto, 1977.

THE HYDROGENOSOME. Miklós Müller en *Symposia of the Society for General Microbiology*, vol. 30, páginas 127-142; 1980.

METABOLIC PATHWAYS IN PEROXISOMES AND GLYOXYSOMES. N. Edward Tolbert en *Annual Review of Biochemistry*, vol. 50, págs. 133-157; 1981.

PEROXISOMES AND GLYOXYSOMES. Dirigido por Helmut Kindl y Paul B. Lazarow en *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 386, páginas 1-550; 1982.

AVANCES EN LA PRODUCCION PORCINA

SWINE PRODUCTION IN TEMPERATE AND TROPICAL ENVIRONMENTS. Wilson G. Pond y Jerome H. Maner. W. H. Freeman and Co., 1974.

SWINE PRODUCTION. Jake L. Krider y William E. Carroll. McGraw-Hill Book Company, 1975.

SILENT PARTNERS: FARMERS, THERI ANIMALS AND CONSUMERS. W. G. Pond. Lacuna Books, Interlaken, N.Y., 1978.

NUEVOS MATERIALES INORGANICOS

INORGANIC POLYMERS. N. H. Ray. Academic Press, 1978.

MAKING THE MOST OF MATERIALS: MATERIALS AND ENERGY CONSERVATION IN THE MATERIALS PROCESSING INDUSTRIES. Science Research Council, 1979.

FLEXURAL STRENGTH AND POROSITY OF CEMENTS. J. D. Birchall, A. J. Howard y K. Kendall en *Nature*, volumen 289, n.° 5792, págs. 388-389; 29 de enero de 1981.

FLEXIBLE INORGANIC FILMS AND COATINGS. D. G. H. Ballard y G. R. Rideal en *Journal of Materials Science*, vol. 18, n.° 2, págs. 545-561; febrero, 1983.

METODOS ESTADISTICOS INTENSIVOS POR ORDENADOR

MULTIVARIATE ANALYSIS. K. V. Mardia, J. T. Kent y J. M. Bibby. Academic Press, 1979.

COMPUTERS AND THE THEORY OF STATISTICS: THINKING THE UNTHINKABLE. Bradley Efron en *SIAM Review*, volumen 21, n.° 4, págs. 460-480; octubre, 1979.

BOOTSTRAPPING A REGRESSION EQUATION: SOME EMPIRICAL RESULTS. D. Freedman y S. Peters. Technical Report n.° 10, Departamento de estadística, Universidad de California en Berkeley, 1982.

THE JACKKNIFE, THE BOOTSTRAP AND OTHER RESAMPLING PLANS. Bradley Efron. SIAM Monograph n.° 38, Society for Industrial and Applied Mathematics, 1982.

THE VARIABILITY OF ACID RAINFALL. B. Eynon and P. Switzer. Technical Report n.° 58, Departamento de estadística, Universidad de Stanford, 1982.

SIMBIOSIS *RHIZOBIUM*-LEGUMINOSA

LA SYMBIOSE *RHIZOBIUM*-LEGUMINEUSES: ROLES RESPECTIFS DES PARTENAIRES. J. Derarié y G. Truchet, en *Physiologie végétale*, vol. 17, n.° 4, páginas 643-667; 1979.

LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO. IMPORTANCIA Y PERSPECTIVAS. J. Olivares, E. J. Bedmar y J. Casadesús, en *Anales de Edafología y Agrobiología*, 38, págs. 1457-1466; 1979.

CURRENT PERSPECTIVES IN NITROGEN FIXATION. A. A. Gibson y W. E. Newton. Australian Academy of Sciences, 1981.

ROOT NODULES OF LEGUMES: STRUCTURE AND FUNCTIONS. F. J. Bergersen. John Wiley and Sons; Nueva York, 1982.

BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION: FUNDAMENTALS. J. R. Postgate, en *Phil. Trans. R. Soc.* 296; 1982.

MYCORRHIZAS AND THEIR SIGNIFICANCE IN NODULATING N-FIXING PLANTS. J. M. Barea y C. Azcón-Aguilar, en *Advances in Agronomy*. Dirigido por N. C. Brady. Academic Press, vol. 36 (1983) (en prensa).

MUERTE SUBITA DE ORIGEN CARDIACO: UN PROBLEMA TOPOLOGICO

SUDDEN CARDIAC DEATH-1978. Bernard Lown en *Circulation*, vol. 60, n.° 7, págs. 1593-1599; diciembre, 1979.

THE GEOMETRY OF BIOLOGICAL TIME. Arthur T. Winfree. Springer-Verlag, 1980.

COMPUTER SIMULATION OF ARRHYTHMIAS IN A NETWORK OF COUPLED EXCITABLE ELEMENTS. Frans J. L. van Capelle y Dirk Durrer en *Circulation Research*, vol. 47, n.° 3, págs. 454-466; septiembre, 1980.

FIBRILLATION AS A CONSEQUENCE OF PACEMAKER PHASE-RESETTING. A. T. Winfree en *Cardiac Rate and Rhythm*, dirigido por L. N. Bouman y H. J. Jongsma. Martinus Nijhoff, 1982.

TEMAS METAMAGICOS

TWO-PERSON GAME THEORY. Anatol Rapoport. University of Michigan Press, 1966.

THE EVOLUTION OF COOPERATION. Robert Axelrod y William D. Hamilton en *Science*, vol. 212, n.° 4489, págs. 1390-1396; 27 de marzo de 1981.

TALLER Y LABORATORIO

INTERFACIAL PHENOMENA. J. T. Davies y E. K. Rideal. Academic Press, 1963.

NATURAL CONVECTION IN POOLS OF EVAPORATING LIQUIDS. J. C. Berg, M. Boudart y Andreas Acrivos en *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 14, páginas 721-735; 1966.

Número 82
Julio 1983



INVESTIGACION Y
CIENCIA *Edición en español de* SCIENTIFIC AMERICAN

SCIENTIFIC AMERICAN

COMITE DE REDACCION Gerard Piel (Presidente), Dennis Flanagan, Brian P. Hayes, Philip Morrison, John M. Benditt, Peter G. Brown, Michael Feirtag, Diana Lutz, Jonathan B. Piel, John Purcell, James T. Rogers, Armand Schwab, Jr., Joseph Wisnovsky

DIRECCION EDITORIAL Dennis Flanagan
DIRECCION ARTISTICA Samuel L. Howard
PRODUCCION Richard Sasso
DIRECTOR GENERAL George S. Conn

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR Francisco Gracia Guillén
REDACCION José María Valderas Gallardo (Redactor Jefe)
Carlos Oppenheimer
José María Farré Josa
PRODUCCION César Redondo Zayas
VENTAS Y PUBLICIDAD Elena Sánchez-Fabrés
PROMOCION EXTERIOR Pedro Clotas Cierco
EDITA Prensa Científica, S. A.
Calabria, 235-239
Barcelona-29 (ESPAÑA)

Los autores

PAUL F. WALKER ("Armas inteligentes en la guerra naval") preside la sección de educación y programas de "Médicos por la responsabilidad social", una entidad altruista. Comenzó sus estudios en el colegio universitario de la Santa Cruz; se alistó luego en el ejército norteamericano, donde cumplió el servicio de traductor de ruso y especialista en información secreta. Al licenciarse volvió a la universidad para estudiar política y relaciones internacionales. En 1978 se doctoró por el Instituto de Tecnología de Massachusetts.

GEORGE F. BERTSCH ("Vibraciones del núcleo atómico") es profesor de física en la Universidad estatal de Michigan. Inició su formación en el Swarthmore College, licenciándose en 1962. Preparó su doctorado en física en la Universidad de Princeton, defendiendo la tesis en 1965. Trabajó en Princeton y el MIT. En 1970 fue contratado por la Universidad de Michigan. "La física me interesó desde mis años adolescentes de Nueva York. Cuando ya en la facultad descubrí que la física experimental exige largas horas de trabajo a altas horas de la noche, elegí la especialidad de teórica. He ceñido mi investigación al movimiento cooperativo de sistemas de muchas partículas, siendo los núcleos el tema de la mayoría de mis trabajos."

CHRISTIAN DE DUVE ("Microcuerpos celulares") divide su tiempo de trabajo entre tres cargos con sedes muy distantes. Fundador y presidente del Instituto Internacional de Patología Celular y Molecular de Bruselas, detenta la cátedra Andrew W. Mellon de la Universidad Rockefeller y es jefe del departamento de química fisiológica de la Facultad de Medicina de la Universidad Católica de Lovaina. Aunque posee la ciudadanía belga, nació en Inglaterra en 1917. Se licenció en medicina en Lovaina en 1941. En 1949, empleando un método de fraccionamiento celular desarrollado por Albert Claude, de Duve y sus colegas de Lovaina descubrieron el lisosoma, un orgánulo de la célula viva. Por este trabajo y otros sobre estructura y función de la célula, de Duve (junto con Claude y George E. Palade) recibió el premio Nobel de medicina y fisiología en 1974. En 1962 se trasladó a la Universidad Rockefeller, pero conservó su cátedra de Lovaina. En 1975 fundó el Instituto de Patología Celular y Molecular.

WILSON G. POND ("Avances en la producción porcina") dirige la sección de nutrición del Roman L. Hruska de investigación cárnica de Clay Center, Nebraska, adscrito al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Se licenció por la Universidad de Minnesota en 1952, doctorándose, en 1957, por la estatal de Oklahoma. Desde 1957 hasta 1978, fue miembro del departamento de zootecnia de la Universidad de Cornell. En 1978 ingresó en el Centro Hruska. Ha intervenido como asesor de porcinocultura en Japón, Italia, Alemania, Taiwan y Ecuador.

J. D. BIRCHALL y ANTHONY KELLY ("Nuevos materiales inorgánicos") son, respectivamente, director de investigación del Imperial Chemical Industries (ICI) y vicerrector de la Universidad de Surrey. "Ingresé, escribe Birchall, en el ICI en 1957 después de trabajar en compañías pequeñas; durante un breve período practiqué el ejercicio libre de la profesión. Mi primera patente me fue concedida a los 19 años. En el ICI centré mis estudios en nucleación y crecimiento de cristales. Este interés se amplió hasta el comportamiento de los sólidos cristalinos ante el calor." Birchall es profesor invitado de la Universidad de Surrey. Kelly se graduó por la de Reading, en 1949, y obtuvo su doctorado en física por la de Cambridge en 1953. Tras años de especialización en varias instituciones, como la Universidad de Northwestern y la de Cambridge, se trasladó al Laboratorio Nacional de Física (inglés) en 1967, en calidad de jefe de la división de estructura inorgánica y metálica.

PERSI DIACONIS y BRADLEY EFRON ("Métodos estadísticos intensivos por ordenador") enseñan estadística en la Universidad de Stanford. La primera profesión a la que Diaconis se dedicó fue la de ilusionista. Abandonó su casa a los 14 años para trabajar con Dave Vernon, conocido experto en prestidigitación. Pasó 10 años viajando como ayudante de Vernon antes de inscribirse en los estudios de primer ciclo universitario del City College, de la universidad neoyorquina. Tras graduarse allí en 1971, alcanzó tres años más tarde el doctorado en estadística por la Universidad de Harvard. Entre sus campos de investigación se cuentan las teorías bayesianas y las aplicaciones de la probabilidad al análisis de algoritmos de ordenador. Diaconis escribe que "su pasado como ilusionista asoma en artículos que señalan errores de la moderna parapsicología o en trabajos acerca de cuántas veces deben barajarse los naipes para que su ordenación tienda a ser aleatoria." Efron, por su parte, cuenta de sí mismo: "Recibí mi título de bachiller en matemática del Instituto Tecnológico de California; me vine a Stanford en 1960 como alumno de segundo ciclo, me recibí de doctor en estadística en 1965 y he permanecido casi aferrado a Stanford desde entonces. Mi nombramiento en la Facultad de Medicina, en calidad de profesor de bioestadística, me ha proporcionado mucho campo de aplicación práctica a mis trabajos teóricos."

CONCEPCION AZCON GONZALEZ DE AGUILAR, JOSE MIGUEL BAREA y JOSE OLIVARES ("Simbiosis *Rhizobium*-leguminosa") desarrollan su labor de investigación en el Departamento de Microbiología de la Estación Experimental del Zaidín (Granada), adscrita al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Se han especializado en el estudio de los microorganismos del suelo y su influencia en nutrición vegetal. Antiguos colaboradores de *Investigación y Ciencia*, a su dilatado curriculum hay que añadir que Olivares es hoy "Principal Investigador" de un proyecto nacional sobre fijación del nitrógeno; Barea y Azcón, por su parte, han sido designados consultores de la FAO/IAEA, integrándose en sus programas de micorrizas en leguminosas.

ARTHUR T. WINFREE ("Muerte súbita de origen cardíaco: un problema topológico") es profesor de biología de la Universidad de Purdue. Se licenció en ingeniería física, en 1965, por la de Cornell. Amplió estudios de biología y física en la Universidad de Princeton, por la que se doctoró en biología en 1970. Enseñó biología teórica en la Universidad de Chicago, de 1969 a 1972, ingresando luego en el claustro docente de Purdue. Tres son las cuestiones que le preocupan especialmente: "¿cómo descifrar las curiosas peculiaridades del ritmo humano sueño-vigilia? ¿Cuáles son los centros organizadores que se forman y mantienen en medios excitables? ¿En qué consiste la turbulencia que denominamos cardíaca y cómo se inicia?"